

Gojko MAGAZINović

Projektiranje i analiza grijanja tankova elektroničkim računalom

Ključne riječi:

*grijanje tankova
primjena računala*

UDK: 629.123.56-69.001.6:681.32=862

Key words:

*computer application
tank heating*

Adresa autora (Author's address):



Dr. Gojko MAGAZINović, dipl. inž.
Brodogradevna industrija Split
RO Institut
Put udarnika 19
58000 Split

Yugoslavia

Primljeno (Received): 1987 - 03 - 26

Prihvaćeno (Accepted): 1987 - 04 - 28

Pregledni rad

U radu je dan detaljni prikaz postupka proračuna grijanja tankova tereta ili goriva ogrjevnim cijevima. Osim toga, dan je i prikaz računarskoga programa CARGOHED. Program, zasnovan na predloženom postupku, namijenjen je projektiranju i analizi grijanja tankova. Na kraju je dan primjer jednoga proračuna.

Computer Aided Design and Analysis of Tank Heating

Subject review

In this paper a detailed description of cargo or bunker tank heating coil calculation is presented. In addition a short review of computer program CARGOHED is given. The program, based on the proposed procedure, is intended for design and analysis of tank coil heating. Finally an example of design calculation is given.

Rechnergestützte Projektierung und Analyse der Heizung von Tanken

Übersichtsarbeit

In der Arbeit wird ein Berechnungsverfahren der Heizung von Tanken für die Ladung mit den Heizrohren dargestellt. Daneben, wird auch eine Darstellung des Rechnerprogrammes CARGOHED gegeben. Das Programm, das auf vorgeschlagenem Verfahren basiert wird, ist für Projektierung und Analyse der Heizung von Tanken zugewendet. Am Ende wird ein Beispiel einer Berechnung gegeben.

Проектирование и анализ подогрева танков с помощью электронной вычислительной машины

Обзорная работа

В статье сдана подробная демонстрация метода расчёта подогрева грузовых или топливных танков змеевиком. Кроме того, дана демонстрация счётно-вычислительной программы CARGOHED. Программа обоснованна на выше указаном методе, и предназначена проектированию и анализу подогрева танков. На конце сдан пример одного расчёта.

Uvod

Prijevoz tekućih tereta morem vezan je uz jednu posebnost – potrebu grijanja tereta. Naime, viskozni tereti, u prvom redu nafte i naftne preradevine, zbog svojih svojstava mogu predstavljati poteškoću pri iskrcaju jer se pri određenim temperaturnim uvjetima ne mogu valjano, ili uopće ne mogu crpsti. Zbog toga se brodski tankovi opremaju uređajima za zagrijavanje, kako bi se smanjenjem viskoznosti tereta olakšalo rukovanje njime [1]. Iz istih razloga griju se i tankovi goriva [2], a radi sprečavanja zaleđivanja mogu se grijati i tankovi balasta [3].

U primjeni su dva načina grijanja tankova: grijanje ogrjevnim cijevima [2 do 9] te grijanje palubnim zagrijačima [10 do 12]. Grijanje ogrjevnim cijevima klasičan je postupak, temeljen na načelu strujanja ogrjevne tvari kroz prikladno raspoređene cijevi pri dnu tanka. Kao ogrjevna tvar najčešće služi vodena para a rjeđe termalno ulje ili topla voda. Grijanje palubnim zagrijačima novijeg je datuma, a zasiva se na načelu prisilne cirkulacije tereta kroz izmjenjivače topline, smještene na palubi broda i zagrijavane vodenom parom ili termalnim uljem.

Projektom grijanja tankova treba odrediti gubitke zbog prolaza topline na stijenjkama tankova, potrebnu ogrjevnu površinu te toplinsku snagu i energiju potrebnu za izvođenje grijanja. Da bi se to postiglo, nužno je točno poznavati vrijednosti koeficijenata prolaza topline na stijenjkama tankova i ogrjevnim cijevima. Stoga to zahtijeva temeljitu analizu, detaljno matematičko opisivanje procesa te provjeru zaključaka rezultatima pokusa i na modelima, i na izgrađenim brodovima.

Rad van der Heedena i Muldera [4] jedan je od prvih pokušaja sustavnoga mjerenja i analize prijenosa topline na stijenjkama tankova i ogrjevnim cijevima stvarnoga broda. Takva su istraživanja poslije provodili Saunders [5] te Suhara [7] i suradnici [13], koji su provodili i modelska istraživanja. Ostali istraživači su se, zbog jednostavnijega obavljanja i nižih troškova, priklonili isključivo modelskim istraživanjima. Couchman i suradnici [6] istraživali su prijelaz topline s ogrjevne cijevi te raspodjelu temperatura u tanku. Fedoroveniy [14] je istraživao prijelaz topline na podvodnom dijelu oplate broda, a utjecaj valjanja broda na prijenos topline u tanku istraživali su Suhara [7] i Doerffer [15].

Značajni doprinos teorijskom proučavanju grijanja tankova dao je Akagi [16]. U radu je izvedena posebna jednadžba za koeficijent prijelaza topline s ogrjevne cijevi na vrlo viskozne fluide pri uvjetima prirodne konvekcije. Osim toga, izvedena je jednadžba za efektivnu duljinu ogrjevne cijevi, tj. duljinu cijevi kroz koju para prostruji do potpune kondenzacije. U [16] su također izvedene i jednadžbe za koeficijente prijelaza i prolaza topline na stijenjkama tankova, s posebnim osvrtom na utjecaj elemenata brodske trupa. Utjecaj elemenata brodske trupa na prolaz topline u tankovima obrađen je i u radu Grossmana i Hadlera [2].

Polazne osnove proračuna grijanja tankova ogrjevnim cijevima dane su u [2, 4 i 9]. Primjena računala u proračunavanju grijanja tankova prikazana je u [17], gdje su

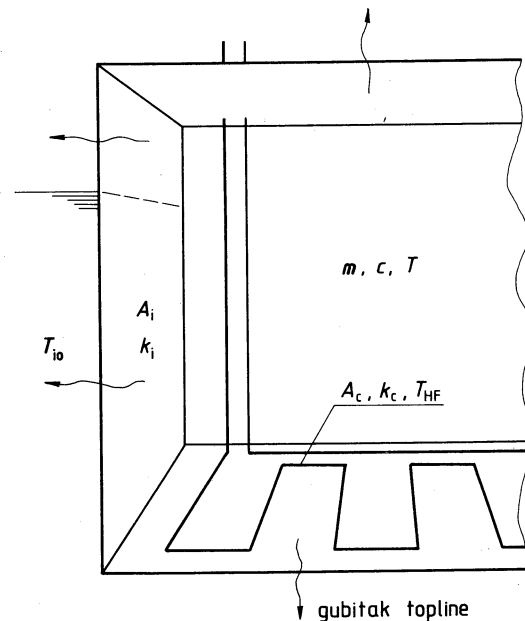
prikazane mogućnosti programa TKHEAT. Program TKHEAT namijenjen je projektiranju i analizi grijanja tankova ogrjevnim cijevima i rezultat je suradnje Norwegian Marine Research Institute i Marine Consultants Ltd. iz Velike Britanije.

U ovom radu iznesen je postupak proračuna grijanja tankova tereta ili goriva za slučaj grijanja ogrjevnim cijevima. Dan je i prikaz računarskoga programa CARGO-HED [18], namijenjenog projektiranju i analizi grijanja tankova, razvijenog na osnovi izloženoga postupka. Opis programa popraćen je primjerom jednoga proračuna.

Proračun grijanja tankova

Osnovne jednadžbe

Proračunom grijanja tankova treba odrediti takve dimenzije ogrjevnih cijevi koje će omogućiti da se sadržaj tanka, pri zadanim uvjetima okoline T_{io} , zagrije od temperature T_1 do temperature T_2 , za vrijeme t [1].



Sl. 1 Osnovne veličine prijenosa topline u brodskom tanku

Fig. 1 Basic elements of heat transfer in ship's tank

Akumulirana topline u zagrijavanom tanku jednaka je razlici dovedene topline s ogrjevnih cijevi i odvedene topline sa stijenke tanka (slika 1), odnosno:

$$m c \cdot \frac{dT}{dt} = k_c A_c (T_{HF} - T) - \sum_{i=1}^n k_i A_i (T - T_{io}), \quad (1)$$

gdje su:

- m – masa tereta, kg,
 c – specifični toplinski kapacitet tereta, J/(kg K),
 T – temperatura tereta, K,
 t – vrijeme grijanja tereta, s
 k_c – koeficijent prolaza topline ogrjevne cijevi, W/(m² K),
 A_c – ogrjevna površina, m²,
 T_{HF} – temperatura ogrjevne tvari, K,
 k_i – koeficijent prolaza topline stijenke, W/(m² K),
 A_i – površina stijenke, m²,
 T_{io} – temperatura s vanjske strane stijenke, K.

Uvođenjem oznaka:

$$A = k_c T_{HF} \quad (2)$$

$$B = \sum_{i=1}^n k_i A_i T_{io} \quad (3)$$

$$C = \sum_{i=1}^n k_i A_i \quad (4)$$

Jednadžba (1) se svodi na jednostavniji oblik:

$$m c \frac{dT}{dt} = A A_c + B - (k_c A_c + C) T \quad (5)$$

Uz pretpostavke $k_i = \text{konst.}$ i $c = \text{konst.}$, diferencijalna jednadžba (5) se može pisati u obliku:

$$\frac{dT}{A A_c + B - (k_c A_c + C) T} = \frac{dT}{m c} \quad (6)$$

kojem je rješenje:

$$\ln \frac{A A_c + B - (k_c A_c + C) T_1}{A A_c + B - (k_c A_c + C) T_2} - \frac{(k_c A_c + C) t}{m c} = 0 \quad (7)$$

gdje su:

- T_1 – početna temperatura tereta, K,
 T_2 – konačna temperatura tereta, K.

Jednadžba (7), oblika $F(A_c) = 0$, nema algebarskoga rješenja, pa se nepoznata veličina ogrjevne površine A_c određuje nekim približnim postupkom, npr. postupkom uzastopnoga raspolavljanja [19].

Temperatura tereta T_2 , nakon vremena t , je prema (7):

$$T_2 = \frac{A A_c + B - [A A_c + B - (k_c A_c + C) T_1] e^{-[(k_c A_c + C)t/mc]}}{k_c A_c + C} \quad (8)$$

Za slučaj prirodnoga hlađenja može se uzeti $A_c = 0$, pa je:

$$T_2 = \frac{B - (B - C T_1) e^{(ct/mc)}}{C} \quad (9)$$

Pri različitim stanjima okoline može se iz (7) odrediti vrijeme potrebno za grijanje tereta od temperature T_1 do temperature T_2 :

$$t \frac{m c}{k_c A_c + C} \ln \frac{A A_c + B - (k_c A_c + C) T_1}{A A_c + B - (k_c A_c + C) T_2} \quad (10)$$

Koeficijent prolaza topline ogrjevne cijevi

Koeficijent prolaza topline, sveden na vanjsku plohu ogrjevne cijevi, određen je sa:

$$k_c = \left(\frac{D_o}{\alpha_1 D_i} + \frac{r_i D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2\lambda} \ln(D_o/D_i) + r_o + \alpha_o^{-1} \right)^{-1} \quad (11)$$

gdje su:

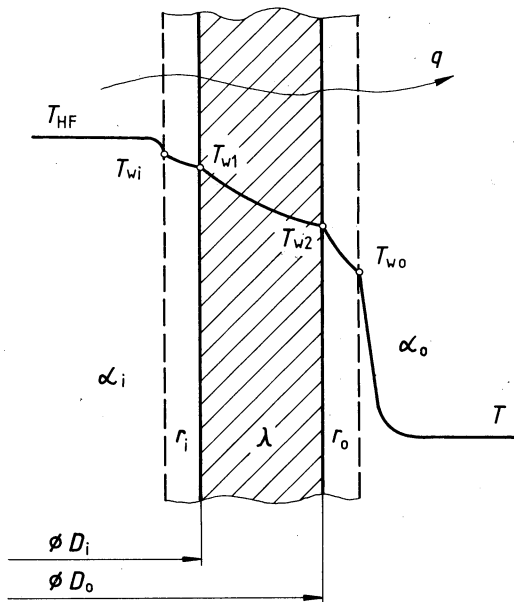
- α_i, α_o – koeficijent prijelaza topline s unutrašnje, odnosno vanjske strane ogrjevne cijevi, W/(m² K),
 D_i, D_o – unutrašnji, odnosno vanjski promjer ogrjevne cijevi, m,
 r_i, r_o – toplinska otpornost naslaga s unutrašnje odnosno vanjske strane ogrjevne cijevi, (m² K)/W,
 λ – toplinska provodljivost materijala ogrjevne cijevi, W/(m K).

U tablici 1 iznesene su vrijednosti toplinskih otpornosti naslaga najčešće upotrebljivanih tvari. Za ostale tvari podaci su dani u literaturi [20].

Tablica 1. **Toplinske otpornosti naslaga izabranih tvari [20]**
Table 1. **Fouling resistances of selected fluids [20]**

Tvar	$r/\text{m}^2 \text{KW}^{-1}$
Vodena para	0,00009
Benzin	0,0002
Napojna voda	0,0002
Jetke otopine	0,0004
Biljna ulja	0,0005
Sirova nafta	0,0009
Teško gorivo	0,0009
Asfalt i ostaci	0,002

Ako se toplinske otpornosti r_i i r_o zamisle odgovarajućim »stijenkama naslaga«, slika 2, mogu se odrediti nepoznate temperature T_{wi} i T_{wo} , nužne za određivanje koeficijena prijelaza topline α_i i α_o . Postavljanjem jednadžbi



Sl. 2 Osnovne veličine prolaza topline kroz ogrjevnu cijev
Fig. 2 Basic elements of heat transfer through the heating coil

Jednakosti toplinskoga toka q , određivanje T_{wi} i T_{wo} svodi se na zadovoljavanje sustava jednačbi:

$$q = \frac{\alpha_i \cdot D_i}{D_o} \cdot (T_{HF} - T_{wi})$$

$$q = \frac{D_i}{r_i \cdot D_o} \cdot (T_{wi} - T_{w1})$$

$$q = \frac{2\lambda}{D_o \ln(D_o/D_i)} (T_{w1} - T_{w2}) \quad (12)$$

$$q = \frac{1}{r_o} (T_{w2} - T_{wo})$$

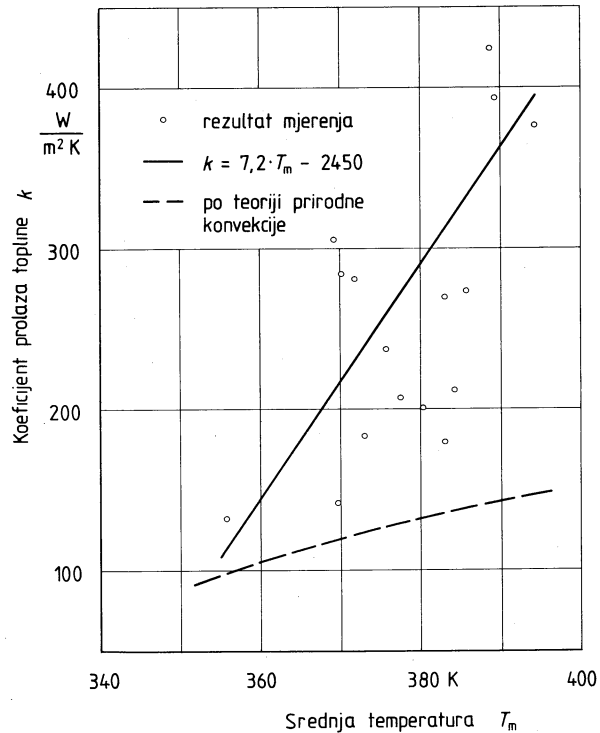
$$q = \alpha_o (T_{wo} - T)$$

odnosno iterativno rješavanje sustava:

$$T_{wo} = T_{wi} - \alpha_o \left[\frac{r_i D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2\lambda} \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + r_o \right] (T_{wo} - T)$$

$$T_{wi} = T_{HF} - \frac{T_{wi} - T_{wo}}{\frac{\alpha_i \cdot D_i}{D_o} \left[\frac{r_i D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2\lambda} \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + r_o \right]} \quad (13)$$

Uobičajene vrijednosti koeficijenta prolaza topline ogrjevne cijevi kreću se oko $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Suhara i suradnici [7 i 13] modelskim su istraživanjem utvrdili da se pri grijanju sirove nafte, zbog visokog sadržaja lakospirivih sastojaka, prijelaz topline s ogrjevne cijevi na teret ne provodi prirodnom konvekcijom već ključanjem. U tom slučaju su iznosi koeficijenata prijelaza i prolaza topline višestruko veći, slika 3.



Sl. 3 Rezultati mjerenja i funkcija aproksimacije koeficijenta prolaza topline kroz ogrjevnu cijev pri ključanju [13]

Fig. 3 Measured data and approximation function of coil boiling over all heat transfer coefficient [13]

Predložena korelacija koeficijenta prolaza topline pri ključanju je [7 i 13]:

$$k_c = 7,2 T_m - 2450 \quad (14)$$

$$T_m = \frac{T_{HF} + T}{2} \quad (15)$$

uz ograničenje: $T_m \geq 356 \text{ K}$ ($83 \text{ }^\circ\text{C}$)

Prijelaz topline s unutrašnje strane cijevi

Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji pare u horizontalnoj cijevi [12] dan je sa:

$$\alpha_1 = 0,725 \left(\frac{\lambda_k^2 r \rho_k^2 g}{\mu_k D_i (T_k - T_{wi})} \right)^{\frac{1}{4}} \varphi \quad (16)$$

$$\varphi = 0,524 - 0,059 \ln(\rho/\rho_k) \quad (17)$$

gdje su:

λ_k – toplinska provodljivost kondenzata, W/(m K),

r – latentna toplina isparivanja, J/kg,

ρ_k – gustoća kondenzata, kg/m³,

g – ubrzanje Zemljine sile teže, m/s²,

μ_k – dinamička viskoznost kondenzata, Pa s,

T_k – temperatura kondenzata, K,

φ – faktor utjecaja naplavljenosti cijevi kondenzatom,

ρ – gustoća pare, kg/m³.

Koeficijent prijelaza topline s unutrašnje strane ogrjevne cijevi za slučaj grijanja termalnim fluidom [22] dan je sa:

$$\alpha_1 = 0,023 c v \rho \left(\frac{c_f \mu_f}{\lambda_f} \right)^{-2/3} \left(\frac{D_i v \rho}{\mu_f} \right)^{-1/5} \quad (18)$$

gdje su:

c – specifični toplinski kapacitet ogrjevne tvari pri T_{HF} , J/(kg K),

v – brzina strujanja ogrjevne tvari, m/s,

ρ – gustoća ogrjevne tvari, kg/m³,

c_f – specifični toplinski kapacitet ogrjevne tvari pri temperaturi filma T_f , J/(kg K),

μ_f – dinamička viskoznost ogrjevne tvari pri T_f , Pa s,

λ_f – toplinska provodljivost ogrjevne tvari pri T_f , W/(m K),

$$T_f = 0,5 (T_{HF} + T_{wi}) \quad (19)$$

Prijelaz topline s vanjske strane cijevi

Ako se isključi mogućnost pojave ključanja, prijenos topline s vanjske strane ogrjevne cijevi provodi se prirodnom konvekcijom. Akagi [16] je za vrlo viskozne fluide izveo posebnu jednadžbu za koeficijent prijelaza topline:

$$\alpha_o = 0,515 \frac{[\lambda^3 g \beta \rho c (T_{wo} - T)]^{\frac{1}{4}}}{D_o^{0,25} \nu^{0,04} \nu_{wo}^{0,21}} \quad (20)$$

gdje su:

λ – toplinska provodljivost tereta, W/(m K),

β – koeficijent prostornoga širenja tereta, 1/K,

ρ – gustoća tereta, kg/m³,

ν – kinematička viskoznost tereta pri temperaturi

ν_{wo} – kinematička viskoznost tereta pri temperaturi vanjske strane ogrjevne cijevi T_{wo} , m²/s.

Prolaz topline kroz stijenke tankova

Odvedena toplina sa i-te stijenke tanka određena je sa:

$$Q_i = k_i A_i (T - T_{i0}) \quad (21)$$

gdje je:

Q_i – toplinski tok kroz i-tu stijenku, W.

Poznavanje veličine koeficijenta prolaza topline k_i ima odlučujuću važnost za određivanje toplinskih gubitaka na stijenjkama tankova. Iako postoje određene analize [16 i 2], zbog složenosti brodskih konstrukcija računsko određivanje koeficijenata prolaza topline nije zadovoljavajuće riješeno. Stoga se, zasad, čini umješnijim da se pri proračunima gubitaka topline primijene rezultati obavljenih mjerenja na brodovima. U tablici 2 dan je pregled objavljenih rezultata.

Tablica 2. Pregled objavljenih vrijednosti koeficijenata prolaza topline stijenki tankova

Table 2. Review of the published data of ship's tanks over all heat transfer coefficients

Mjesto prolaza topline	TNORS [4] 1965.	BSRA [5] 1967.	SR102 [7] 1970.	SR102 [7] 1970.	IZBOR [8] 1977.
PALUBA					
Teret-atmosfera	3,98 (5,29)	8,5	3–9	6	5,4
Zrak-atmosfera	1,67 (5,82)	—	—	—	—
OPLATA BOKA					
Teret-more	17,45	18,7	13–19	17	17,5
Teret-atmosfera	4,63	18,7	13–19	17	4,7
Zrak-more	10,47	—	—	—	—
Zrak-atmosfera	5,00	—	—	—	—
OPLATA DNA					
Teret-more	2,74	8,5	1–7	5	2,7
PREGRAĐA					
Teret-zrak	4,71 (4,28)	4,5	2–6	5	4,6
Zrak-zrak	5,00 (4,75)	—	—	—	—

Brojčani podaci u prva tri stupca tablice 2 predstavljaju rezultate mjerenja TNORS (Netherlands Ship Research Centre) [4], BSRA (British Ship Research Association) [5], te SR102 (102 Research Committee of Shipbuilding Research Association of Japan) [7], a u četvrtom su stupcu dane preporuke SR102 za projektiranje. Podaci u petom stupcu predstavljaju izbor Slaughtera [8] iz rezultata mjerenja TNORS i BSRA. Sve vrijednosti u tablici su dane u $W (m^2 K)$ i preračunane su, uvećane, faktorom utjecaja elemenata brodskoga trupa. Podaci za palubu, u zgradama, odnose se na rezultate mjerenja provedenih tokom dviju noći, a podaci za pregradu, u zgradama, odnose se na prolaz topline u prazni balastni tank obložen slojem bitumena.

Duljine ogrjevnih cijevi

Potrebna duljina ogrjevnih cijevi u jednome tanku određena je sa:

$$L_t = \frac{A_c}{D_o \pi} \quad (22)$$

a duljina jednoga ogrjevnoga kruga sa:

$$L_{t1} = \frac{L_t}{n_c} \leq L_{cef} \quad (23)$$

gdje su:

n_c – broj ogrjevnih krugova u tanku,
 L_{cef} – efektivna duljina ogrjevnih cijevi (samo za slučaj grijanja parom), m.

Efektivna duljina ogrjevnih cijevi određena je duljinom cijevi kroz koju para prostruji do potpune kondenzacije, slika 4. Približno se može odrediti Akagijevom jednačinom [16]:

$$L_{cef} = \frac{D_i}{2} \left\{ \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 \right] \frac{r^2 \cdot p_1 D_i^2}{[k_c D_o (T_{HF} - T)]^2 v'' \lambda} \right\}^{1/3} \quad (24)$$

gdje su:

p_1, p_2 – tlak pare na ulazu, odnosno izlazu iz ogrjevnih cijevi, Pa,
 r – latentna toplina isparivanja, J/kg,
 v'' – specifični obujam pare, m^3/kg ,
 Λ – faktor trenja kondenzirajuće pare,
 $\Lambda = 0,0134$ [13].

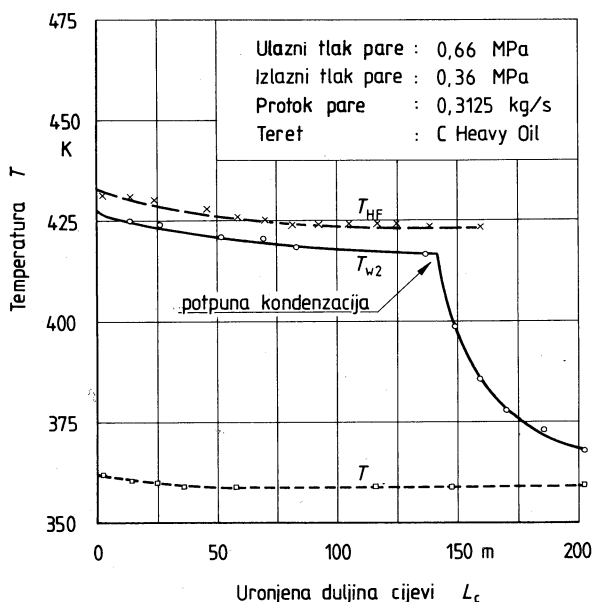
Snaga i energija grijanja

Najveća potrebna snaga izvora grijanja jednaka je toplinskom toku u početnim trenucima grijanja, kad je:

$$P = A_c k_c (T_{HF} - T_1) \quad (25)$$

gdje su:

P – projektna snaga izvora grijanja, W,
 T_1 – početna temperatura tereta, K.



Sl. 4 Određivanje efektivne duljine ogrjevnih cijevi pokusom (preračunato iz [13])

Fig. 4 Experimental determination of effective coil length (recalculated from [13])

Odgovarajući potrebni protok ogrjevnih tvari pri grijanju parom tada je:

$$q_m = \frac{P}{r} \quad (26)$$

a pri grijanju termalnim fluidom je:

$$q_m = \frac{P}{c(T_{f1} - T_{f2})} \quad (27)$$

gdje su:

q_m – protok ogrjevnih tvari, kg/s,
 c – specifični toplinski kapacitet termalnoga fluida, J/(kg K),
 T_{f1}, T_{f2} – temperatura termalnoga fluida na ulazu, odnosno izlazu iz ogrjevnih cijevi, K.

Energija potrebna za grijanje tereta od temperature T_1 do temperature T_2 , u vremenu t , može se približno odrediti sa:

$$E = \sum_{i=1}^n k_{ci} A_{ci} \left(T_{HF} - \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta t \quad (28)$$

gdje su:

E – energija potrebna za grijanje, J,
 n – broj vremenskih prirasta,
 Δt – vremenski prirast, s,
 T' – temperatura tereta na granici vremenskoga prirasta, K.

$$\Delta t = \frac{t}{n}$$

$$T'_1 = T_1$$

$$T'_{n+1} = T_2$$

Snaga izvora grijanja, potrebna za održavanje temperature T_{mnt} u tanku, jednaka je zbroju toplinskih gubitaka na stijenkama tanka, odnosno:

$$P_{mnt} = \sum_{i=1}^{n_w} k_i A_i (T_{mnt} - T_{io}) \quad (29)$$

gdje su:

P_{mnt} – snaga izvora grijanja za održavanje temperature T_{mnt} , W,
 n_w – broj stijenki tanka,
 T_{mnt} – temperatura tereta koja se želi održavati, K.

Opis programa

Na osnovi izloženoga postupka, za potrebe projektiranja i analize grijanja tankova, u Brodograđevnoj industriji Split izrađen je računarski program CARGOHED (CARGO HEating Design) [18].

Program omogućuje:

- projektiranje grijanja novih objekata,
- analizu grijanja postojećih objekata,
- projektiranje grijanja vodenom parom,
- projektiranje grijanja termalnim fluidom,
- analizu grijanja raznovrsnih tereta pri raznovrsnim uvjetima okoline,
- izmjene rješenja,
- korištenje podataka o svojstvima tvari iz vlastite baze podataka.

Program:

- provjerava ulazne podatke i tok izvođenja programa, te dojavljuje greške,
- proračunava toplinske gubitke,
- proračunava koeficijent prolaza topline ogrjevne cijevi,
- dimenzionira ogrjevne cijevi,
- određuje vremenske promjene temperature u tankovima,
- predviđa potrebna vremena grijanja pri različitim temperaturnim stanjima okoline.

Osnovna obilježja programa CARGOHED iznesena su u tablici 3.

Radi prikaza rada programa CARGOHED, na slici 5 je opisan primjer jednoga tankera za koji treba obaviti proračun grijanja tankova. Izvaci iz izlazne liste računarskoga programa dani su na slikama 6 i 7.

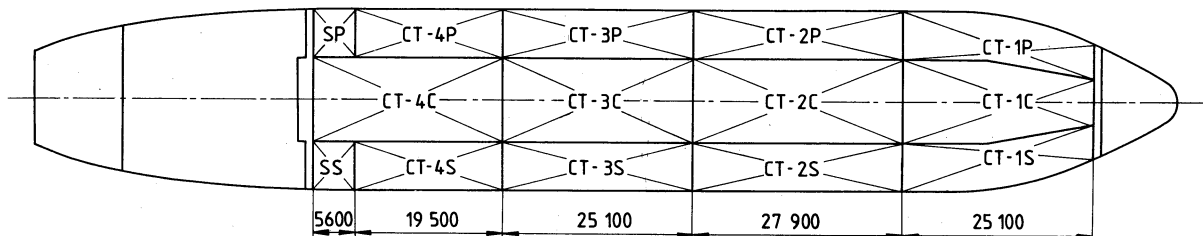
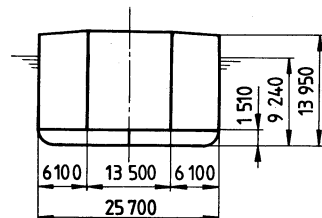
Tablica 3. Osnovna obilježja programa CARGOHED
 Table 3. Basic characteristics of the CARGOHED program

Program	CARGOHED
Izdavanje	V 1.0/1985–10–25
Računalo	IBM VM/370, CMS
Programski jezik	VS FORTRAN, Assembler
Upravljanje izvođenjem	EXEC, EXEC2
Ukupno kartica	5077
Ukupno naredbi	2192
Veličina modula	231 kB
Najmanja potrebna veličina prividne memorije	640 kB
Prosječno vrijeme izvođenja	18 s (CPU)
Potrebni uređaji	Standardni CMS okoliš

Tank	V/m ³	Tank	V/m ³
CT-1P	1 371,9	CT-3C	4 215,3
CT-1C	2 946,4	CT-3S	1 904,7
CT-1S	1 371,9	CT-4P	1 407,2
CT-2P	1 998,4	CT-4C	4 215,3
CT-2C	4 685,5	CT-4S	1 407,2
CT-2S	1 998,4	SLOPP	340,0
CT-3P	1 904,7	SLOPS	340,0

Teret : HFO 3 400 sRI/100 °F
 Grijanje : zasićena para 0,85/0,7 MPa
 Ogrjevna cijev : ϕ 50/54 AISI 316 L

Početna temperatura : 44 °C
 Konačna temperatura : 66 °C
 Vrijeme grijanja tereta : 4 dana
 Vrijeme grijanja slop tankova : 1 dan
 Temperatura zraka : 2 °C
 Temperatura mora : 5 °C



Sl. 5 Primjer tankera za koji treba izvršiti proračun grijanja tankova

Fig. 5 Example of a tanker for which a tanks heating calculation is to be performed

C O I L L E N G T H S

TN	TCDE	AC M2	AVR --	NC --	LC1 M	LCT M	LRT M
01	CT-1P	31.86	0.0232	2	93.90	187.80	25.00
02	CT-1C	34.95	0.0119	2	103.00	266.00	25.00
03	CT-1S	31.86	0.0232	2	93.90	187.80	25.00
04	CT-2P	39.56	0.0198	2	116.60	233.20	25.00
05	CT-2C	52.27	0.0112	3	192.70	368.10	37.50
06	CT-2S	39.56	0.0198	2	116.60	233.20	25.00
07	CT-3P	37.97	0.0199	2	111.90	223.80	25.00
08	CT-3C	47.03	0.0112	2	138.60	277.20	25.00
09	CT-3S	37.97	0.0199	2	111.90	223.80	25.00
10	CT-4P	29.72	0.0211	2	87.60	175.20	25.00
11	CT-4C	49.33	0.0117	2	145.40	290.80	25.00
12	CT-4S	29.72	0.0211	2	87.60	175.20	25.00
13	SLP-P	18.07	0.0531	1	106.50	106.50	12.50
14	SLP-S	18.07	0.0531	1	106.50	106.50	12.50

O U T P U T R E S U L T S

SHIPYARD SPLIT		YARD NO. 000	PAGE 6
CARGOED PROGRAM		E X A M P L E	1987-02-23
CARGO		FUEL OIL 3400SR1	
INITIAL CARGO TEMPERATURE		44.0 C	
FINAL CARGO TEMPERATURE		66.0 C	
DESIGN CARGO TEMPERATURE		55.0 C	
HEATING TIME		4.00 DAYS	
HEATING FLUID		SATURATED STEAM	
INLET STEAM PRESSURE		0.850 MPA	
OUTLET STEAM PRESSURE		0.700 MPA	
DESIGN STEAM TEMPERATURE		172.0 C	
DESIGN HEAT TRANSFER COEFFICIENT		106.6 W.M-2.K-1	
MEAN TEMPERATURE OF OUTSIDE COIL WALL		157.7 C	
EFFECTIVE COIL LENGTH		145.6 MM	
INSIDE COIL DIAMETER		54.0 MM	
OUTSIDE COIL DIAMETER		497.93 M2	
TOTAL COILS AREA		2935.1 M	
INSIDE RISER DIAMETER		14.0 MM	
OUTSIDE RISER DIAMETER		20.0 MM	
TOTAL RISERS LENGTH		537.5 M	
DESIGN HEATING POWER		6946.0 KW	
DESIGN HEATING FLUID FLOW		3336 KE/S	
		12.08 T/HR	
HEATING ENERGY REQUIRED FOR CARGO HEATING FROM 44.0 C TO 66.0 C FOR 4.0 DAYS		2.11E+12 J	
HEATING POWER REQUIRED FOR CARGO MAINTENANCE AT 44.0 C		1977.5 KW	
HEAT TRANSFER COEFFICIENT CHANGED ?		NO	
COIL LENGTHS CHANGED ?		YES	

Sl. 6 Izvaci iz izlazne liste rezultata programa CARGO-HED za primjer tankera sa slike 5 (I dio)
 Fig. 6 Excerpts of the CARGOED output list concerning the example tanker from Figure 5 (Part I)

SHIPYARD SPLIT CARGOED PROGRAM

YARD NO. 000
EXAMPLE

PAGE 9
1987-02-23

REQUIRED HEATING TIME FOR
VARIOUS ENVIRONMENT CONDITIONS
(DAYS)

ATMOSPHERE TEMPERATURE	0. C	5. C	10. C	15. C	20. C	25. C
-20. C	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5
-15. C	5.5	4.5	4.5	4.0	3.5	3.5
-10. C	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5
-5. C	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5
0. C	4.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0
5. C	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0
10. C	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0
15. C	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
20. C	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
25. C	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
30. C	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0

NOTES :

- PREDICTION IS MADE UNDER FOLLOWING ASSUMPTIONS :
 - CARGO IS HEATED FROM 44.0 C TO 66.0 C
 - ENVIRONMENT CONDITIONS ARE CONSTANT DURING HEATING TIME
 - ALL TANKS ARE FULLY LOADED
- ABOVE PREDICTION IS MADE FOR CT-2P TANK
- REQUIRED HEATING TIMES CONSIDERABLY VARY FROM CENTRAL TO SIDE TANKS (GENERALLY HEATING TIME FOR CENTRAL TANKS IS APPROXIMATELY FOR A DAY SHORTER)

SHIPYARD SPLIT CARGOED PROGRAM

YARD NO. 000
EXAMPLE

PAGE 8
1987-02-23

CARGO TEMPERATURE ANALYSIS
FOR SELECTED TANKS

TIME HR	CT-1P C	CT-1C C	CT-2S C	CT-3S C	CT-4P C	CT-4C C	SLP-P C
0.0	44.0	44.0	44.0	20.0	44.0	44.0	44.0
6.0	46.3	45.7	42.7	21.6	46.2	45.7	50.8
12.0	48.4	47.3	41.5	21.8	48.2	47.3	56.6
18.0	50.3	48.9	40.3	22.1	50.1	48.9	61.7
24.0	52.1	50.5	39.2	22.4	51.9	50.5	66.0
30.0	53.8	52.0	38.2	22.6	53.5	52.0	69.8
36.0	55.3	53.5	37.2	22.9	55.1	53.5	73.4
42.0	56.7	54.9	36.3	23.1	56.5	55.0	76.4
48.0	58.1	56.3	35.4	23.3	57.9	56.4	79.1
54.0	59.3	57.6	34.6	23.6	59.2	57.7	81.2
60.0	60.4	58.9	33.8	23.8	60.4	59.1	83.1
66.0	61.5	60.2	33.1	24.0	61.5	60.4	84.7
72.0	62.5	61.4	32.4	24.2	62.6	61.6	86.1
78.0	63.4	62.7	31.7	24.4	63.5	62.9	87.4
84.0	64.2	63.8	31.1	24.6	64.5	64.1	88.5
90.0	65.0	65.0	30.6	24.8	65.4	65.2	89.4
96.0	65.8	66.1	30.0	24.9	66.2	66.4	90.3

NOTE :

ABOVE VALUES CORRESPOND TO TANK LOADING AND HEATING STATES AS DEFINED IN INPUT DATA SECTION.

prazni tank

isključeno grijanje

Sl. 7 Izvaci iz izlazne liste rezultata programa CARGO-HED za primjer tankera sa slike 5 (II dio)
 Fig. 7 Excerpts of the CARGOHEd output list concerning the example tanker from Figure 5 (Part II)

Zaključne napomene

Proračun grijanja tankova složen je i dugotrajan proces. Primjenom elektroničkoga računala projektant se oslobađa zamornih računanja i usmjerava na cjelokupno sagledavanje i rješavanje zadatka. Osim toga, ukupno vrijeme izrade projekta višestruko je kraće. Izrađeni računarski programi [17 i 18] mogu poslužiti i kao osnova za uspoređivanje postupka grijanja ogrjevnim cijevima s postupkom grijanja palubnim zagrijačima, te utvrđivanje povoljnijega rješenja.

Dalja istraživanja i poboljšanja postupka projektiranja grijanja tankova ogrjevnim cijevima mogla bi se usmjeriti na područja:

- računskog predviđanja i opisivanja procesa pojave prijenosa topline pri ključanju,
- istraživanja i računskog opisivanja prijenosa i prolaza topline na stijenkama tankova,
- istraživanja mogućnosti upotrebe otpadne topline za grijanje tankova, u prvom redu tankova goriva.

Zahvala

Koristim se ovom prilikom da odam priznanje dipl. inž. Josipu Tripkoviću za njegov pionirski rad na području grijanja tankova u Brodograđevnoj industriji Split, te da izrazim zahvalnost dipl. inž. Damiru Poljaku, koji mi je savjetima i prijedlozima umnogome pomogao.

Literatura

- [1] »Digest of Charterers Requirements for Crude and Product Carriers«, Shell International Marine Ltd., London 1973.
- [2] G. GROSSMANN, C. HADLER, »Bunkerheating for Fuel Oils with High Viscosity and a High Pour Point«, Paper C4, 5th WEGEMT, 1981.
- [3] O. A. OZHIGANOV, A. V. SKARLYKIN, »Proektirovanie sistem podogreva ballasta sudov ledovoga plavaniya«, Sudostroenie (1983) 10, 17–18.
- [4] D. J. VAN DER HEEDEN, L. L. MULDER, »Heat-Transfer in Cargotanks of a 50 000 dwt Tanker«, International Shipbuilding Progress 12 (1965) 132, 309–328.
- [5] R. J. SAUNDERS, »Heat Transfer from Oil-tanker Cargoes«, Transactions of the Institute of Marine Engineers 70 (1967) 12, 405–414.
- [6] A. A. J. COUCHMAN, W. F. DOWIE, W. MCCLIMONT, »Heating of High-viscosity Oil Cargoes«, Transactions of the Institute of Marine Engineers 78 (1966), 53–71.
- [7] J. SUHARA, »Studies of Heat Transfer on Tank Heating of Tankers«, Japan Shipbuilding and Marine Engineering 5 (1970) 1, 5–16.
- [8] A. P. W. SLAUGHTER, »Marine Application of Thermal Fluid Heating«, Institute of Marine Engineers, Technical Reports 90 (1978) A3, 117–127.
- [9] G. PONTON, »Reducing Fuel Consumption for Liquid Cargo Heating Systems, Marine Technology 19 (1982) 4, 377–386.
- [10] »Cargo Heating Based Upon FRAMO Submerged Cargo Pumps«, prospektni materijal, Frank Mohn A/S, Nesttun 1980.
- [11] »Submerged Cargo Pumps«, prospektni materijal, Frank Mohn A/S, Nesttun 1985.
- [12] »Sunrod and Bendek Heat Exchangers for Cargo Heating«, prospektni materijal, Frank Mohn A/S, Nesttun 1982.
- [13] T. KURIHARA, H. AMAGATA, C. MAEKAWA, »Experimental Studies in Heat Transfer Coefficients and Effective Length of Tank Heating Coils in Vessels«, Selected Papers from the Journal of the Society of Naval Architects of Japan 10 (1972), 129–144.
- [14] K. YU. FEDOROVENIY, »Issledovanie teploobmena i zamknutykh sistemakh okhladzheniya«, Sudostroenie (1981) 7, 19–20.
- [15] S. DOERFFER, »The Influence of Rolling of the Heat Transfer in Ship Tanks«, International Shipbuilding Progress 32 (1985) 371, 158–168.
- [16] S. AKAGI, »Heat Transfer on Oil Tanks of Ships«, Japan Shipbuilding and Marine Engineering 4 (1969) 2, 26–35.
- [17] L. KOLLE, B. M. HANSEN, t. S. JOHNSEN, »Computer-Aided Design for Improved Waste Heat Plants«, MER, September 1986, 17–19.
- [18] G. MAGAZINOVIĆ, »Program CARGOHED, Uputstva za korisnike«, Brodograđevna industrija Split, Split 1986.
- [19] B. CARNAHAN, H. A. LUTHER, J. O. WILKES, »Applied Numerical Methods«, John Wiley and Sons, New York 1969.
- [20] »Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association«, Tubular Exchanger Manufacturer Association, New York 1978.
- [21] »Heat Transfer Data Book«, General Electric Co., Schenectady 1977.
- [22] W. H. MCADAMS, »Prostiranje toplote«, Građevinska knjiga, Beograd 1969.